第 37 卷第 11 期
2017 年 6 月

生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.11
Jun.,2017

DOI: 10.5846/stxb201603230519

童冉,吴小龙,姜丽娜,司倩倩,臧德奎.野生玫瑰种群表型变异.生态学报,2017,37(11):3706-3715.

Tong R, Wu X L, Jiang L N, Si Q Q, Zang D K.Phenotypic variations in populations of *Rosa rugosa*.Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3706-3715.

野生玫瑰种群表型变异

童　冉,吴小龙,姜丽娜,司倩倩,臧德奎*

山东农业大学林学院,泰安　271018

摘要:在野生玫瑰(*Rosa rugosa*)自然分布区内选取 5 个代表种群,选择 24 个表型性状作为研究对象,运用方差分析、多重比较、主成分分析、相关分析、聚类分析等方法,得出野生玫瑰种群表型变异程度和变异规律。结果显示:(1)24 个表型性状在种群间和种群内均存在极显著差异,变异非常丰富;种群内变异(0.2718)大于种群间变异(0.1679),种群内变异是表型变异的主要来源,种群间平均表型分化系数(V_{ST})为 0.2952,分化水平相对较大;表型性状平均变异系数(CV)为 18.48%(6.67—26.79%),叶片、果实、花、种子的变异系数依次为 21.40%、17.42%、12.54%、6.67%;主成分分析表明叶片、果实的表型变异对种群变异起主要的贡献作用。(2)托叶长与年平均气温、7 月平均气温呈显著正相关,与经、纬度呈显著负相关;果实横径与年降水量呈显著正相关;千粒重与经、纬度呈显著正相关,与 7 月平均气温呈显著负相关。(3)利用欧氏距离进行系统聚类分析,可以将 5 个种群划分为 3 类,表型性状主要依地理位置聚类。

关键词:野生玫瑰;种群;表型性状;变异

Phenotypic variations in populations of *Rosa rugosa*

TONG Ran, WU Xiaolong, JIANG Lina, SI Qianqian, ZANG Dekui*

College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai' an 271018, *China*

Abstract: To determine the phenotypic variation in *Rosa rugosa* populations and the relationships between phenotypic variation and different distribution areas, 24 phenotypic traits from 5 representative populations were chosen as research subjects. Analysis of variance, multi-comparison, principal component analysis, correlation analysis, and cluster analysis were used to analyze these data. The results showed the following. (1) There were highly significant differences in the 24 phenotypic traits among and within the populations, and the variation was high. The mean phenotypic differentiation coefficient (V_{ST}) among populations was 0.2952, which indicated the phenotypic variation was great. The variation within populations (27.18%) was greater than that among populations (16.79%), which indicated that the former was the main source of the phenotypic variation in the species. The mean phenotypic variation coefficient (CV) was 18.48%, and the variation range of the 24 phenotypic traits was 6.67%—26.79%. The variation coefficients of leaves, fruits, flowers, and seeds were 21.40%, 17.42%, 12.54% and 6.67% respectively, which indicated that seeds exhibited the greatest stability, whereas leaves exhibited the least. The principle component analysis also showed that the phenotypic variation of leaves and fruits contributed the most variation. (2) The correlation analysis showed that there was significant correlation between some traits and geographic ecological factors. With the decrease of latitude and longitude, the length of stipule decreased, but when annual temperature and the average July temperature increased, the length of stipule became even greater. Increases in annual precipitation resulted in larger fruit diameters, and the ratio of the transverse and longitudinal diameter of fruits and also increased, which indicated that the shape of fruit varied from broadly orbicular to oblong. A decrease in average July

基金项目:山东省农业良种工程重大课题"林木种质资源收集保护与评价"(鲁农良字[2010]6 号)

收稿日期:2016-03-23;　　**网络出版日期**:2017-02-22

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zangdk@ sdau.edu.cn

temperature and an increase in latitude and longitude resulted in an increase in thousand-grain weight. (3) The five populations of *R. rugosa* investigated could be divided into three groups according to the UPGMA cluster analysis; the phenotypic traits gathered were based on geographic distance, and it was noteworthy that the population of Chengshan town in Shandong Province and the population of Mingyang Town in Liaoning Province were in the same group.

Key Words: *Rosa rugosa*; populations; phenotypic traits; variation

野生玫瑰(*Rosa rugosa*)是蔷薇科蔷薇属落叶灌木,目前在国内仅零星分布于山东东部沿海、辽宁南部沿海以及吉林珲春图们江入海口等地区[1]。与栽培玫瑰相比,野生玫瑰抗病性和抗寒性强,是培育栽培品种的重要种质资源,也是优良的海岸防风护沙植物,对于维系滨海地区生态环境具有重要价值。由于滨海地区工业开发、旅游度假、水产养殖等人类活动的增加,其野生分布区逐渐萎缩。1992 年,玫瑰作为珍稀濒危植物被编入《中国植物红皮书》[2]。目前对野生玫瑰研究主要集中在种子繁殖[3-4]、花粉活性[5]以及花蕾抗氧化能力[6]等,但对其种群、群落研究很少,形态变异研究[7]也不够深入,尚无有关于野生玫瑰种群表型变异系统的研究报道。

生物种内遗传多样性研究有多种遗传标记方式,相较于细胞学、生化和分子标记,表型可以直观地揭示生态系统多样性和物种多样性[8]。表型变异程度是生物遗传受制于环境条件的遗传表征,是遗传多样性的主要研究内容[9]。同时,利用表型性状研究遗传多样性也最为简便、快速、经济,是遗传育种工作中一种重要且有效的手段[10],并广泛应用,如云杉[11]、葛萝槭[12]、金花茶[13]等。本文选取野生玫瑰的 24 个表型性状为研究对象,运用方差分析、多重比较、主成分分析、相关分析、聚类分析等方法,以期揭示种群间和种群内表型变异规律,为种质资源保护和育种提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 样本的来源与采集

在 2014—2015 年 5—10 月对山东烟台牟平区、姜格庄镇,威海成山镇、辽宁明阳镇以及吉林珲春市野生玫瑰种群分布区进行了多次调查,选取的代表种群面积依次约为 1.5、3.8、2.5、2、5 hm^2。每个种群内随机选取 50 个长势正常、无明显缺陷和病虫害的个体,株间距离大于 30m,并进行标记,于夏季依次随机采取单株朝南方向、中上部的 10 枚叶片、5 朵花,秋末于标记单株上采集 5 个果实作为样本。各采样点的地理生态因子等基本情况见表 1,其中群落类型、地理位置、海拔数据来自调查时现场观测,气候数据出于《中国县情大全》(华北卷、东北卷)[14]。

表 1 野生玫瑰 5 个种群的地理位置及主要气候因子

Table 1 Geographical locations and main conditions for five populations of *Rosa rugosa*

采样点 Sample site	群落类型 Community type	纬度/N Latitude /(°)	经度/E Longitude /(°)	海拔 Altitude/m	年平均气温 Annual mean air temperature /℃	1 月平均气温 Mean air temperature in Jan./℃	7 月平均气温 Mean air temperature in July/℃	无霜期 Frost-free season/d	年降水量 Annual precipitation/mm
烟台牟平区	CPRV	37.46	121.69	4.5	11.6	−1	25	180	737
烟台姜庄镇	CPRV	37.45	121.79	5	11.6	−1	25	180	737
威海成山镇	CPRV	37.40	122.54	3	12	−0.5	24.5	190	810
辽宁明阳镇	CARP	39.53	122.69	3	8.0	−13.4	24.2	165	890.6
吉林珲春市	CCRC	42.90	130.28	5.5	5.6	−11.9	20.3	152	606.8

CPRV:: 黑松 *Pinus thunbergii*-玫瑰 *Rosa rugosa*-单叶蔓荆 *Vitex rotundifolia* 群落;CARP:紫穗槐 *Amorpha fruticusa*-玫瑰 *Rosa rugosa*-芦苇 *Phragmites austealis* 群落;CCRC:山楂 *Crataegus pinnatifida*-玫瑰 *Rosa rugosa*-栓皮薹草 *Carex pumila* 群落

1.2 表型性状测定方法

用电子游标卡尺测量野生玫瑰复叶长(叶片和叶柄)、复叶宽(叶片倒数第 2 对小叶平展后的总长)、顶生小叶长、顶生小叶宽、侧生小叶长(第 1 对侧生小叶)、顶生小叶叶柄长、叶脉数目、托叶长、托叶宽、花直径、花瓣长、花瓣宽、果实横径、果实纵径、宿存花萼长、果柄长,每组数据测量 3 次,测量精度为 0.01mm,取平均值。计算复叶长/宽、顶生小叶长/宽、侧生小叶长/宽、托叶长/宽、果实横径/纵径、花瓣长/宽等作为形状指数。于每个种群内采集到的果实里随机取 100 粒成熟饱满的种子,用电子天平称量,重复 3 次,取平均值,换算成千粒重。

1.3 数据统计分析

将测量和计算所得数据通过 SAS 8.2 及 Excel 2003 等软件进行统计分析。通过方差分析、多重比较、表型分化系数等得出种群间表型性状变异特征[15];通过平均值、标准差的计算得出变异系数(CV=标准差/平均值),用以衡量表型性状种群内变异水平;通过相关分析得出地理生态因子对表型性状的影响;计算各种群表型性状的平均值,用于主成分分析,得出表型性状对种群变异贡献率;通过欧氏平均距离进行聚类分析,得出各种群遗传距离远近。

2 结果与分析

2.1 种群间和种群内的形态变异分析

从表 2 的方差分析结果可以看出,选取的 24 个表型性状在种群间、种群内都存在极显著差异(P<0.01),表明野生玫瑰的表型性状在种群间和种群内都存在丰富变异。不同分布区表型性状的均值及多重比较结果(表 3)表明,各表型性状间存在显著差异。其中,吉林珲春种群的果实横径出现最小值,为 1.54 cm,而果实纵径却出现最大值,为 2.39 cm,与其它种群差异十分显著;辽宁明阳镇种群的花直径、花瓣长、花瓣宽均为 5 个种群中最小的;珲春种群种子千粒重明显大于其它种群,这与其种子饱满率有较大关联。另外,表型性状种群内和种群间的方差分量及各性状的表型分化系数(表 4)表明,24 个表型性状在种群间的平均方差分量百分比为 16.79%,种群内为 27.18%,随机误差为 56.03%,说明种群内变异大于种群间变异;种群间平均表型分化系数(V_{ST})为 0.2952,说明种群间的贡献值为 29.52%,种群内的贡献值为 70.48%,种群内变异是表型变异的主要来源,与李继红对野生玫瑰种群遗传多样性[16]的研究结论相似。

表 2 野生玫瑰各种群间和种群内叶片、花、果实、种子表型性状的方差分析结果

Table 2 Variance analysis of phenptypic traits of leaf, flower, fruit and seeds among and within *Rosa rugosa* populations

性状 Traits	均方 Mean square			F	
	种群间 Among populations	种群内 Within populations	随机误差 Random error	种群间 Among populations	种群内 Within populations
顶生小叶长 TLL /cm	0.99	0.94	0.20	4.92**	4.66**
顶生小叶宽 TLW /cm	0.93	0.49	0.11	8.43**	4.43**
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	0.78	0.25	0.07	2.62*	3.71**
侧生小叶长 LLL /cm	1.38	1.41	0.19	7.39**	7.57**
侧生小叶宽 LLW /cm	1.04	0.64	0.10	10.99*	6.72**
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	0.88	0.14	0.06	15.83**	2.46**
复叶长 CLL /cm	32.69	10.15	2.57	7.72**	3.07**
复叶宽 CLW /cm	8.67	3.45	1.12	10.57**	6.26**
复叶长/宽 CLL/CLW	0.31	0.37	0.13	2.34**	2.82**
顶生小叶叶柄长 TLPL /cm	0.70	0.33	0.07	10.28**	4.92**
叶脉数目 VN	23.15	22.99	8.83	2.62**	2.60**
托叶长 SL /cm	0.66	0.40	0.11	6.27**	3.80**
托叶宽 SW/cm	0.74	0.29	0.09	8.18**	3.21**

续表

性状 Traits	均方 Mean square			*F*	
	种群间 Among populations	种群内 Within populations	随机误差 Random error	种群间 Among populations	种群内 Within populations
托叶长/宽 SL/SW	0.43	0.32	0.13	3.30**	2.47**
果实横径 FTD /cm	1.45	0.30	0.09	15.80**	3.28**
果实纵径 FLD /cm	1.17	0.17	0.06	18.79**	2.68**
果实横径/纵径 FTD/FLD	1.69	0.06	0.02	80.85**	2.77**
宿存萼长 PCL /cm	4.36	0.56	0.25	17.80**	2.30**
果柄长 CL /cm	0.94	0.61	0.26	3.56**	2.30**
花直径 FD /cm	33.90	1.49	0.60	60.53**	2.66**
花瓣长 TL /cm	22.51	0.35	0.96	235.19**	3.69**
花瓣宽 TW /cm	10.58	0.45	0.15	68.40**	2.93**
花瓣长/宽 TL/TW	0.28	0.65	0.03	8.58**	2.03**
千粒重 TSW /g	14.79	1.57	0.50	29.68**	3.16**

TLL: terminal leaflet length; TLW: terminal leaflet width; TLL/TLW: the ratio of terminal leaflet length to terminal leaflet length; LLL: lateral leaflet length; LLW: lateral leaflet width; LLL/LLW: the ratio of lateral leaflet length to lateral leaflet length; CLL: compound leaf length; CLW: compound leaf width; CLL/CLW: the ratio of compound leaf length to leaf width; TLPL: terminal leaflet petiole length; VN: vein number; SL: stipule length; SW: stipule width; SL/SW: the ratio of stipule length to stipule width; FTD: fruit transverse diameter; FLD: fruit longitudinal diameter; FTD/FLD: the ratio of fruit transverse diameter to fruit longitudinal diameter; PC: persistent calyx length; CL: carpopodium length; FD: flower diameter; TL: tepal length; TW: tepal width; TL/TW: the ratio of tepal length to tepal length; TSW: thousand seeds weight; ** $P<0.01$

表 3　野生玫瑰 5 个种群表型性状的平均值、标准差及多重比较

Table 3　The mean value, standard deviation and multiple comparison of phenotypic traits of five populations in *Rosa rugosa*

性状 Traits	种群 Populations				
	烟台牟平区	烟台姜庄镇	威海成山镇	辽宁明阳镇	吉林珲春市
顶生小叶长 TLL	3.18±0.69(a)	3.10±0.53(a)	2.86±0.47(b)	2.87±0.54(b)	3.03±0.64(ab)
顶生小叶宽 TLW	2.16±0.38(b)	2.36±0.37(a)	2.04±0.38(b)	2.02±0.45(b)	2.12±0.51(b)
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	1.49±0.27(a)	1.34±0.29(b)	1.45±0.37(a)	1.47±0.36(a)	1.48±0.28(a)
侧生小叶长 LLL	3.17±0.68(a)	3.16±0.52(a)	2.94±0.62(b)	2.77±0.72(b)	3.00±0.66(a)
侧生小叶宽 LLW	1.76±0.40(c)	2.14±0.49(a)	1.95±0.45(bc)	1.84±0.34(b)	1.87±0.50(bc)
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	1.83±0.21(a)	1.54±0.37(c)	1.53±0.24(c)	1.50±0.24(c)	1.64±0.25(b)
复叶长 CLL	10.74±2.47(a)	11.17±1.90(a)	9.49±1.43(b)	9.41±1.77(b)	10.76±2.22(a)
复叶宽 CLW	5.68±1.33(a)	5.80±1.58(a)	4.83±0.72(b)	5.13±0.91(b)	5.17±1.09(b)
复叶长/宽 CLL/CLW	1.94±0.42(ab)	2.03±0.52(a)	2.01±0.42(a)	1.84±0.39(b)	2.00±0.32(a)
顶生小叶小叶柄长 TLPL	1.29±0.38(bc)	1.44±0.29(a)	1.19±0.36(cd)	1.15±0.34(d)	1.36±0.33(ab)
叶脉数目 VN	17.68±3.55(b)	18.98±3.69(a)	19.48±3.47(a)	18.94±3.67(a)	19.10±2.32(a)
托叶长 SL	2.09±0.49(ab)	2.11±0.39(a)	2.04±0.35(c)	1.96±0.41(b)	1.83±0.34(c)
托叶宽 SW	1.29±0.41(bc)	1.52±0.37(a)	1.41±0.39(ab)	1.29±0.30(bc)	1.21±0.31(c)
托叶长/宽 SL/SW	1.71±0.43(a)	1.45±0.41(b)	1.54±0.47(b)	1.55±0.29(b)	1.59±0.41ab)
果实横径 FTD	2.32±0.29(a)	2.20±0.31(b)	2.44±0.33(a)	2.43±0.33(a)	2.04±0.50(c)
果实纵径 FLD	1.87±0.28(b)	1.66±0.18(c)	1.74±0.27(c)	1.69±0.30(c)	2.03±0.36(a)
果实横径/纵径 FTD/FLD	1.26±0.17(c)	1.32±0.14(b)	1.42±0.17(a)	1.47±0.20(a)	1.00±0.15(d)
宿存萼长 PCL	3.19±0.64(a)	2.53±0.53(c)	2.62±0.67(bc)	2.73±0.47(b)	2.44±0.39(c)
果柄长 CL	2.65±0.74(a)	2.41±0.54(b)	2.34±0.55(b)	2.31±0.57(b)	2.35±0.42(b)
花直径 FD	8.03±0.86(a)	6.74±0.63(c)	7.87±0.75(ab)	6.52±0.71(c)	7.71±0.81(b)
花瓣长 TL	3.92±0.38(b)	3.41±0.41(c)	4.42±0.36(a)	2.81±0.38(d)	4.32±0.36(a)
花瓣宽 TW	3.76±0.42(a)	3.26±0.56(b)	3.82±0.41(a)	2.75±0.37(c)	3.73±0.49(a)
花瓣长/宽 TL/TW	1.05±0.12(b)	1.09±0.31(b)	1.20±0.19(a)	1.03±0.12(b)	1.18±0.18(a)
千粒重 TSW	10.26±0.44(c)	11.26±0.61(b)	11.32±1.19(b)	11.51±0.59(b)	13.32±1.07(a)

种群缩写见表 1,表型性状缩写表见表 2;不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

表 4 野生玫瑰表型性状的方差分量及其种群间表型分化系数

Table 4 Variation components and phenotypic differentiation coefficients among *Rosa rugosa* population

性状 Traits	方差分量 Variance components			方差分量百分比 Proportion of variance components/%			表型分化系数 Phenotype differentiation coefficient/%
	种群间 Among populations	种群内 Within populations	随机误差 Random errors	种群间 Among populations	种群内 Within populations	随机误差 Random errors	
顶生小叶长 TLL	0.0010	0.1471	0.2001	0.30	42.17	57.53	0.68
顶生小叶宽 TLW	0.0088	0.0756	0.1101	4.53	38.86	56.61	1.04
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	-0.0015	0.0364	0.0670	0	35.19	64.81	0
侧生小叶长 LLL	-0.0007	0.2461	0.1873	0	56.79	43.21	0
侧生小叶宽 LLW	0.0081	0.1084	0.0947	3.83	51.33	44.84	6.95
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	0.0149	0.0162	0.0558	17.16	18.67	64.17	47.91
复叶长 CLL	0.4508	1.5147	2.5743	9.93	33.37	56.71	22.94
复叶宽 CLD	0.0762	0.6060	0.9707	4.61	36.67	58.73	11.17
复叶长/宽 CLL/CLD	-0.0016	0.0479	0.1317	0	26.67	73.33	0
顶生小叶叶柄长 TLPL	0.0073	0.0531	0.0678	5.67	41.45	52.89	12.11
叶脉数目 VN	0.0033	2.8324	8.8260	0.03	24.29	75.68	0.17
托叶长 SL	0.0052	0.0589	0.1054	3.08	34.75	62.17	8.11
托叶宽 SW	0.0090	0.0398	0.0901	6.45	28.65	64.90	18.44
托叶长/宽 SL/SW	0.0022	0.0383	0.1306	1.28	22.39	76.33	5.43
果实横径 FTD	0.0230	0.0419	0.0919	14.68	26.71	58.61	35.44
果实纵径 FLD	0.0200	0.0206	0.0620	19.49	20.09	60.42	49.26
果实横径/纵径 FTD/FLD	0.0327	0.0074	0.0209	53.56	12.14	34.30	61.35
宿存花萼长 PCL	0.0759	0.0634	0.2446	19.77	16.51	63.73	54.49
果柄长 CL	0.0067	0.0688	0.2642	1.96	20.25	77.79	8.87
花直径 FD	0.4609	0.1297	0.4501	44.29	12.46	43.25	78.04
花瓣长 TL	0.4430	0.0516	0.0957	75.05	8.735	16.21	89.57
花瓣宽 TW	0.2026	0.0596	0.1547	48.60	14.29	37.11	77.27
花瓣长/宽 TL/TW	0.0042	0.0066	0.0321	9.78	15.45	74.77	38.89
千粒重 TSW	1.1011	0.2690	0.4982	58.94	14.40	26.66	80.37
平均 Mean value				16.79	27.18	56.03	29.52

2.2 种群表型性状变异特征分析

24 个表型性状在种群内不同个体的平均变异系数为 18.48%,变异幅度为 6.67%—26.79%(表 5)。托叶宽、顶生小叶叶柄长 2 个表型性状的变异系数超过 25%,远大于 24 个表型性状的平均变异系数 18.48%;千粒重、花直径、花瓣长等 3 个表型性状的变异系数不超过 11%,远小于 24 个表型性状的平均变异系数 18.48%,表明花、种子性状的稳定性大于叶片性状的稳定性。此外,顶生小叶长宽比、侧生小叶长宽比、复叶长宽比、托叶长宽比(形状指标)的平均变异系数为 21.19%,果实横纵径比(形状指标)为 12.87%,花瓣长宽比(形状指标)为 16.43%。比较 5 个种群表型性状的平均变异系数,变化幅度为 18.29%—18.66%,总体差距不大,表明野生玫瑰 5 个种群的多样性相似。

2.3 表型性状的主成分分析

主成分分析(表 6)表明:前 3 个主成分的贡献率依次为 17.893%、11.491%、8.832%,累计贡献率 38.216%,可代表原始性状的部分信息;前 10 个主成分的累计贡献率为 79.477%,保留了原始性状的大部分信息。第一主成分中侧生小叶长(0.842)、侧生小叶宽(0.784)、复叶长(0.760)、顶生小叶宽(0.708)特征值最大,起主导作用,主要反映了叶片性状。第二主成分中起主要作用的是花瓣长(0.781)、花瓣宽(0.666)、花直径(0.645),主要反映了花部特征。第三主成分中特征值最大的是宿存花萼长(0.544)、果柄长(0.468)、果实

横径(0.415),第四主成分特征值最大的是托叶长比宽(0.635)、宿存花萼长(0.526)、果实横径(0.398),主要反映果实性状。第十主成分特征值最大的是种子千粒重(0.682),反映种子性状,虽数值较大,但因处于第十主成分中,代表程度不够。以上分析表明,叶片、果实累计贡献较大,说明叶片、果实的表型变异对野生玫瑰的变异起主要作用,进一步证明了表型变异特征分析的结果。

表 5　野生玫瑰种群表型性状的变异系数

Table 5　Variation coefficients of phenotypic traits in *Rosa rugosa* populations

性状 Traits	种群 populations					平均值 Mean
	烟台牟平区	烟台姜庄镇	威海成山镇	辽宁明阳镇	吉林珲春市	
顶生小叶长 TLL	21.76	17.21	16.32	18.91	20.94	19.03
顶生小叶宽 TLW	17.69	15.72	18.64	25.35	26.53	20.79
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	17.90	21.65	25.62	24.39	19.21	21.76
侧生小叶长 LLL	21.31	16.42	21.16	25.90	22.04	21.37
侧生小叶宽 LLW	22.78	23.03	22.29	18.41	26.68	22.64
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	11.34	22.97	15.42	16.02	14.96	16.14
复叶长 CLL	23.03	16.99	15.03	18.84	20.63	18.90
复叶宽 CLD	23.56	27.29	15.00	21.52	20.03	21.48
复叶长/宽 CLL/CLD	21.64	25.57	20.90	21.45	15.93	21.10
顶生小叶叶柄长 TLPL	29.58	20.07	30.46	29.44	24.39	26.79
叶脉数目 VN	20.10	19.44	17.79	19.39	12.16	17.78
托叶长 SL	23.45	18.46	17.35	20.80	18.58	19.73
托叶宽 SW	31.87	24.07	27.43	22.89	25.37	26.33
托叶长/宽 SL/SW	25.09	27.92	30.70	18.90	26.11	25.74
果实横径 FTD	12.60	14.03	13.61	13.38	24.74	15.67
果实纵径 FLD	15.04	10.70	15.47	17.82	17.85	15.38
果实横径/纵径 FTD/FLD	13.58	10.22	12.15	13.55	14.85	12.87
宿存花萼长 PCL	20.04	20.85	25.69	17.09	16.18	19.97
果柄长 CL	27.89	22.47	23.36	24.55	17.84	23.22
花直径 FD	10.65	9.39	9.56	10.86	10.44	10.18
花瓣长 TL	9.76	11.96	8.16	13.42	8.34	10.33
花瓣宽 TW	11.25	17.32	10.64	13.59	13.25	13.21
花瓣长/宽 TL/TW	11.51	28.13	15.76	11.66	15.07	16.43
千粒重 TSW	4.31	5.44	10.52	5.10	8.00	6.67
平均值 Mean Value	18.66	18.64	18.29	18.47	18.34	18.48

表　6　野生玫瑰天然种群主成分分析

Table 6　Principal component analysis of populations in *Rosa rugosa*

性状 Traits	主成分 Principal component									
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
顶生小叶长 TLL	0.649	0.134	0.023	0.157	−0.434	0.295	0.017	−0.078	0.085	−0.082
顶生小叶宽 TLW	0.708	−0.106	0.089	0.050	0.379	−0.249	−0.059	−0.047	−0.214	0.100
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	−0.130	0.216	−0.071	0.063	−0.737	0.510	0.048	−0.046	0.256	−0.195
侧生小叶长 LLL	0.842	0.075	0.065	0.144	0.095	0.072	−0.192	−0.012	0.088	−0.061
侧生小叶宽 LLW	0.784	−0.215	0.047	−0.123	−0.090	0.021	0.310	0.211	−0.037	0.075
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	−0.020	0.397	0.024	0.303	0.231	0.038	−0.630	−0.315	0.138	−0.167
复叶长 CLL	0.760	0.131	−0.239	0.267	0.006	0.095	−0.010	0.011	0.122	0.155
复叶宽 CLD	0.592	0.002	0.372	−0.139	−0.405	−0.211	0.003	−0.149	−0.182	0.032
复叶长/宽 CLL/CLD	0.140	0.080	−0.582	0.369	0.401	0.277	0.017	0.178	0.306	0.095
顶生小叶叶柄长 TLPL	0.608	0.123	0.024	0.118	−0.008	−0.056	−0.035	−0.114	−0.054	0.038

续表

性状 Traits	主成分 Principal component									
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
叶脉数目 VN	0.251	−0.007	−0.320	0.049	0.079	0.346	−0.095	−0.123	−0.081	0.370
托叶长 SL	0.565	−0.191	0.258	0.115	0.050	−0.186	0.200	0.092	0.250	−0.279
托叶宽 SW	0.374	−0.258	0.374	−0.505	0.313	0.330	0.047	−0.124	0.289	−0.070
托叶长/宽 SL/SW	0.063	0.189	−0.240	0.635	−0.270	−0.521	0.085	0.192	−0.115	−0.142
果实横径 FTD	−0.137	−0.235	0.415	0.398	0.156	0.471	0.042	0.440	−0.301	−0.082
果实纵径 FLD	−0.005	0.501	0.389	0.118	0.020	0.376	−0.037	0.157	−0.496	0.210
果实横径/纵径 FTD/FLD	−0.121	−0.699	0.013	0.257	0.125	0.094	0.089	0.291	0.182	−0.285
宿存花萼长 PFCL	−0.251	0.029	0.554	0.526	0.018	−0.013	0.213	−0.308	0.171	0.111
果柄长 CL	−0.263	0.020	0.468	0.368	0.191	−0.003	0.321	−0.430	0.191	0.144
花直径 FD	0.039	0.645	0.139	−0.024	0.230	−0.036	0.230	0.247	−0.057	−0.154
花瓣长 TL	−0.001	0.781	−0.090	−0.203	0.162	0.008	0.383	0.050	0.120	−0.103
花瓣宽 TW	−0.017	0.666	0.301	−0.182	0.062	−0.143	−0.097	0.377	0.382	0.049
花瓣长/宽 TL/TW	0.049	0.120	−0.478	−0.008	0.178	0.150	0.593	−0.385	−0.261	−0.204
千粒重 TSW	−0.131	−0.120	−0.040	0.051	−0.182	−0.123	0.221	0.189	0.278	0.682
特征值 Eigen Value	4.294	2.758	2.120	1.801	1.675	1.515	1.365	1.269	1.201	1.077
贡献率 Proportion/ %	17.893	11.491	8.832	7.505	6.979	6.311	5.688	5.286	5.006	4.486
累积贡献率 Cumulative/ %	17.893	29.384	38.216	45.721	52.700	59.011	64.699	69.985	74.991	79.477

2.4 表型性状与地理生态因子的相关性

24 个表型性状平均值与样本采集点生态气候因子间相关分析见表 7。5 个采样种群均处于温带季风气

表 7 野生玫瑰 24 个表型性状间与地理生态因子相关分析

Table 7 Correlation coefficients between the geo-ecological factors and morphological traits in *Rosa rugosa*

性状 Traits	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E	年平均气温 Annual mean air temperature /℃	1 月平均气温 Mean air temperature in Jan./℃	7 月平均气温 Mean air temperature in July/℃	无霜期 Frost-free season/d	年降水量 Annual precipitation/ mm
顶生小叶长 TLL	−0.104	−0.020	0.178	0.370	0.060	−0.017	−0.597
顶生小叶宽 TLW	−0.284	−0.196	0.339	0.467	0.238	0.175	−0.384
顶生小叶长/宽 TLL/TLW	0.364	0.316	−0.374	−0.379	−0.342	−0.302	0.000
侧生小叶长 LLL	−0.332	−0.144	0.459	0.687	0.198	0.305	−0.579
侧生小叶宽 LLW	−0.277	−0.179	0.321	0.365	0.206	0.306	−0.046
侧生小叶长/宽 LLL/LLW	−0.034	0.048	0.108	0.272	−0.023	−0.007	−0.468
复叶长 CLL	0.077	0.196	0.027	0.283	−0.150	−0.149	−0.759
复叶宽 CLD	−0.309	−0.315	0.305	0.360	0.346	0.091	−0.268
复叶长/宽 CLL/CLD	−0.087	0.205	0.285	0.584	−0.152	0.285	−0.631
顶生小叶叶柄长 TLPL	0.110	0.249	0.005	0.268	−0.202	−0.139	−0.750
叶脉数目 VN	0.142	0.218	−0.101	−0.100	−0.226	0.075	0.147
托叶长 SL	−0.968**	−0.911*	0.954*	0.845	0.934*	0.874	0.383
托叶宽 SW	−0.729	−0.637	0.743	0.685	0.663	0.719	0.274
托叶长/宽 SL/SW	0.095	0.098	−0.073	−0.012	−0.100	−0.111	−0.194
果实横径 FTD	−0.652	−0.751	0.533	0.222	0.720	0.623	0.925*
果实纵径 FLD	0.716	0.818	−0.593	−0.307	−0.804	0.599	−0.797
果实横径/纵径 FTD/FLD	−0.708	−0.835	0.566	0.227	0.807	0.624	0.966**
宿存花萼长 PCL	−0.486	−0.539	0.432	0.324	0.537	0.348	0.264
果柄长 CL	−0.413	−0.346	0.454	0.531	0.373	0.309	−0.222
花直径 FD	0.006	0.236	0.160	0.398	−0.208	0.202	−0.477
花瓣长 TL	0.144	0.431	0.062	0.366	−0.395	0.142	−0.612
花瓣宽 TW	−0.012	0.278	0.215	0.516	−0.236	0.250	−0.617
花瓣长/宽 TL/TW	0.287	0.533	−0.111	0.138	−0.510	0.031	−0.462
千粒重 TSW	0.913*	0.932*	−0.850	−0.688	−0.937*	−0.781	−0.540

* a=0.05 水平上显著; ** a=0.01 水平上显著

候区,纬度和经度的变化幅度分别为 37.40° — 42.90°N、121.69°— 130.28°E;地理空间上多位于滨海空阔地带,海拔变化幅度极小,变化幅度为 3—5.5m,故海拔不进行与表型性状的相关性分析;虽然各地气候各异,但是小气候极为相似,都处于靠海的阳光充足、湿度较大的林带边缘,使得地理气候因子对表型性状的影响不是那么明显。托叶长与纬度、经度呈显著负相关,与年平均气温和 7 月平均气温呈显著正相关,说明在温度较高的低经纬度的分布区内,托叶长较大;果实横径、果实横径/纵径与年降水量呈显著正相关,说明年降水量越大,果实横径越大,同时,果实形状也由宽圆形向长圆形变异;种子千粒重与经度、纬度呈显著正相关,与 7 月平均气温呈显著负相关,说明高经纬度分布区内,果实发育成熟期温度越低,千粒重越大,与 1 月平均气温无显著关系,也能说明种子后熟能力差,千粒重无明显变化。

2.5　种群表型聚类分析

利用欧氏平均距离,采用 UPGMA 方法对 5 个种群进行聚类,结果如图 1 所示。5 个种群明显聚为三支,烟台姜格庄镇(JGZZ)聚为一支(Ⅰ);牟平区(MPQ)聚为一支(Ⅱ);珲春市(HCS)、成山镇(CSZ)和明阳镇(MYZ)聚为一支(Ⅲ)。在Ⅲ中,明阳镇(MYZ)和成山镇(CSZ)形成一亚支,又与珲春市(HCS)相聚。5 个种群基本上是依地理距离而聚的,表现出种群表型性状变异的连续性。将种群表型性状欧氏距离与地理距离进行相关性分析,得出相关系数 $r = 0.442$,说明表型欧氏距离与地理距离间呈正相关,但经检验相关不显著。在地质历史上,第四纪全新世早期,海水进入渤海,使其成为一个半封闭的内海[17],导致大批植物受淹死亡,而这片区域内的现属于辽宁长海县的长山岛等几个小岛之上都有野生玫瑰的存在,这说明野生玫瑰种群原本极有可能分布区是连续的,所以根据地理距离将威海成山镇与辽宁明阳镇野生玫瑰种群聚为一亚支也是合理的。姜格庄野生玫瑰种群遗传距离最大,这与冯立国[18]之前提出的观点较为一致,山东东部沿海野生玫瑰种群可能是较为原始的种群,遗传分化时间较长,另外也与其种群远离海岸,受海洋因素的影响较小有关。

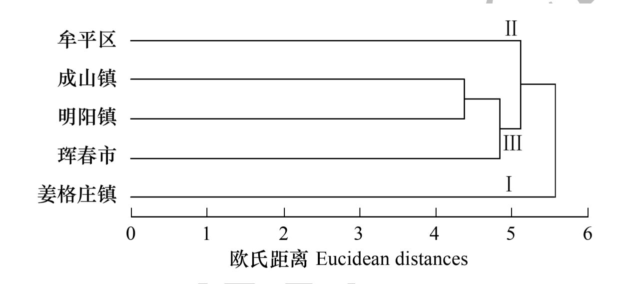


图 1　基于 24 个表型性状的野生玫瑰种群的欧式距离 UPGMA 聚类树形图

Fig.1　UPGMA-derived dendrogram based on Euclidean distances the clustering of the 24 phenotypic traits of *Rosa rugosa*

3　结论与讨论

3.1　野生玫瑰种群表型变异来源

种群间表型分化研究结果显示,野生玫瑰种群间表型分化系数为 0.2952,表明有 29.52%的遗传变异存在于种群间,即种群间有一定的遗传分化。繁育系统是影响物种群体遗传结构的关键因素,尤其是交配系统和基因流[15]。野生玫瑰作为典型的虫媒异花传粉植物,理论上可以促进种群间的基因交流,增加有效种群大小,减少基因漂变对遗传结构的影响[19];本研究中野生玫瑰种群间表型分化系数为 0.2952,这与异交系统导致植物遗传分化较低的推测不一致[20],导致这种现象的原因可能是国内仅存的 5 个野生玫瑰种群间距离往往距离较远,甚至隔海相望,使得花粉无法在种群间进行传播,没有外部花粉的迁入,无法进行基因交流增加了种群间的差异。研究发现,成熟果实中的种子饱满率较低,且种子具有先天性品质差及后熟的特性,更新动力很低[21],因此,野生玫瑰种子虽然可以通过鸟类食用传播,但其种子特性决定了在远途和长时间的传播后,种子生长成植株的可能性极小,这些都导致了种群间基因交流困难,促进了种群间的遗传分化。野生玫瑰种群内植株相对集中,花粉和种子的传播依靠蜜蜂传粉和鸟类取食都能轻易实现,种群内的基因交流频繁,促进了种群内的遗传分化,是野生玫瑰种群表型变异的主要来源。

3.2　野生玫瑰种群表型变异丰富

通过对野生玫瑰自然分布区内 5 个种群的顶生小叶长、顶生小叶宽、侧生小叶长、侧生小叶宽、复叶长等 24 个表型性状的研究发现,表型性状在种群间和种群内都存在极显著的差异,表型变异极为丰富,与黄牡

丹[22]、太白杜鹃[23]、紫丁香[24]等树种的研究结果类似。各观测值离散反映在变异系数上,野生玫瑰 24 个表型性状的变异系数 6.67%—26.79%,平均 18.48%,变化范围较大,说明野生玫瑰种群内表型性状离散程度较高。植物种群中表型变异越大,可能存在的遗传变异越大,而种群内多种基因型所对应的表型范围越广,可以使种群整体更加适应环境的变化[25]。野生玫瑰叶片、果实、花、种子的平均变异系数分别是 20.83%、17.42%、12.54%、6.67%,表明野生玫瑰叶片、花、果实、种子的稳定性排列依次是:种子>花>果实>叶片。叶片、果实的表型变异系数较大可能与野外实地调查中发现的近圆形顶生小叶、长椭圆形顶生小叶、壶形果实、极大果实等特殊类型有关。主成分分析也表明叶片、果实的变异程度高于花、种子。

3.3 野生玫瑰表型的地理变异规律性

形态特征的变异往往是植物对不同生态环境的一种适应,自然种群中丰富的变异贮存对种群是有利的。随着地理生态因子的变化,野生玫瑰种群变异也呈现出一定的规律性,如随着年降水量的增大,果实横径变大,果实形状由宽圆形向长圆形变异,这与无患子[26]表型变异得出的结论相似,说明在雨量充沛的条件下,果实横向生长幅度大。随着经度、纬度的增大,7 月平均气温的减小,千粒重变大,说明在种子成熟期,适当的温度可以增大种子的饱满率,对野生玫瑰的种子萌发、枝条生长、幼苗生长量以及幼苗的生存都有着优势,这与野外调查中发现的吉林珲春和辽宁明阳镇两地野生玫瑰生长状况较山东地区更为旺盛相一致。另外,托叶长度随经、纬度的减小,以及年平均气温和 7 月平均气温的增大而变大,说明托叶对地理生态因子的影响较为敏感,可能是这些因子使托叶叶尖生长素分泌量较大,进而促进了托叶的伸长。

3.4 野生玫瑰保护策略

作为海岸防风护沙与玫瑰精油提取的优良树种,在人类肆无忌惮的发展工业、旅游等活动中,野生玫瑰正面临着种群面积日益缩减,片段化程度日益严重的危险,进入极易濒危状态。因此,为野生玫瑰种质资源的保护和育种制定合理的策略是十分迫切的。策略如下:(1)确定野生玫瑰重点保护单位,在野生玫瑰表型变异多、遗传多样性丰富的地区(如阳明镇、珲春市),设定优先保护和引种单位;(2)加强对野生玫瑰生境的监管保护,破坏严重的种群(如牟平区)需人为干预,为其繁殖更新提供良好的条件;(3)在进行就地保护的同时,选择优树(如树形优良、花繁、果量大)进行采种播种,采穗扦插,保护野生玫瑰优异种质;(4)编写野生玫瑰种质资源鉴定标准和描述规范,建立野生玫瑰种质资源保存库。

参考文献(References):

[1] 秦忠时, 胡群, 何兴元, 于兴华. 野生玫瑰分布及其生态群落类型. 生态学杂志, 1994, 13(6): 52-54.
[2] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第一册). 北京: 科学出版社, 1992: 558-559.
[3] 郭孟瑶, 仝炳武, 刘海峰. 野生玫瑰种子萌发的研究. 甘肃农业, 2006, (8): 157-158.
[4] 刘毅, 陈建军, 刘永富, 黄清俊, 田雨, 牛纯, 章林, 吴景才, 王龙福, 吴俊遥. 野生玫瑰种子繁殖及保存技术的研究. 吉林林业科技, 2008, 37(4): 1-3, 15-15.
[5] 冯立国, 邵大伟, 生利霞, 赵兰勇, 何小弟. 野生玫瑰的花粉形态及其起源与演化的探讨. 林业科学, 2007, 43(12): 76-80.
[6] 邵大伟. 玫瑰(*Rosa rugosa*)花蕾抗氧化能力的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
[7] 冯立国, 邵大伟, 生利霞, 赵兰勇, 于晓艳. 中国野生玫瑰种质资源调查及其形态变异研究. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2009, 40(4): 484-488.
[8] 顾万春. 统计遗传学. 北京: 科学出版社, 2004: 1-352.
[9] 赵冰, 张启翔. 蜡梅种质资源表型多样性. 东北林业大学学报, 2007, 35(5): 10-13, 35-35.
[10] 顾万春, 王棋, 游应天. 森林遗传资源学概论. 北京: 中国科学技术出版社, 1998: 1-296.
[11] 罗建勋, 顾万春. 云杉天然群体表型多样性研究. 林业科学, 2005, 41(2): 66-73.
[12] 孟超, 郑昕, 姬志峰, 林丽丽, 张翠琴, 王祎玲. 山西葛萝槭天然种群表型多样性研究. 西北植物学报, 2013, 33(11): 2232-2240.
[13] 农月香, 蒋运生, 韦霄, 柴胜丰, 唐辉, 罗宝丽. 东兴金花茶表型变异研究. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(4): 372-378.
[14] 中华人民共和国民政部, 中华人民共和国建设部. 中国县情大全: 华北卷, 东北卷. 北京: 中国社会出版社, 1993.
[15] 葛颂, 王明庥, 陈岳武. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构. 林业科学, 1988, 24(4): 399-409.

[16] 李继红. 中国濒危物种野生玫瑰的遗传多样性及其影响因子的研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
[17] 李延成. 渤海的地质演化与断裂活动. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(2): 25-34.
[18] 冯立国. 玫瑰野生种质资源评价及其与栽培种质亲缘关系的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
[19] Hamrick J L, Godt N J W. Allozyme diversity in plant species // Brown A H D, Clegg M T, Kahler A L, Weir B S, eds. Plant Population Genetics, Breeding, and Genetic Resources. Sunderland, USA: Sinauer Association Inc., 1990: 43-63.
[20] Hamrick J L, Godt M J W, Sherman-Broyles S L. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forests, 1992, 6(1/4): 95-124.
[21] 陈建军, 刘毅, 吴景才, 章林. 野生玫瑰濒危机理的研究. 吉林林业科技, 2008, 37(2): 1-6.
[22] 李宗艳, 张海燕. 黄牡丹表型变异及多样性研究. 西北林学院学报, 2011, 26(4): 117-122.
[23] 司国臣, 张延龙, 赵冰, 徐华. 太白杜鹃天然居群的表型多样性. 西北植物学报, 2012, 32(8): 1560-1566.
[24] 明军, 顾万春. 紫丁香表型多样性研究. 林业科学研究, 2006, 19(2): 199-204.
[25] 竺利波, 顾万春, 李斌. 紫荆群体表型性状多样性研究. 中国农学通报, 2007, 23(3): 138-145.
[26] 刁松锋, 邵文豪, 姜景民, 董汝湘, 孙洪刚. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究. 生态学报, 2014, 34(6): 1451-1460.